

**DÜZENLİ DALGALARIN DÜZENSİZ TOPOGRAFYA ÜZERİNDE SAPMASININ
HESABI**

Murat İhsan KÖMÜRCÜ

Arş. Gör.

KTÜ İnş. Müh. Böl.

Trabzon, TURKEY

Hikmet KAPLAN

Arş. Gör.

KTÜ Gümüşhane Müh. Fak. İnş. M. B.

Gümüşhane, TURKEY

Ömer YÜKSEK

Doç. Dr.

KTÜ İnş. Müh. Böl.

Trabzon, TURKEY

İsmail Hakkı ÖZÖLÇER

Arş. Gör. Dr.

KTÜ İnş. Müh. Böl.

Trabzon, TURKEY

ÖZET

Bu çalışmada, derin deniz sınırından kıyıya doğru yaklaşan düzenli dalgaların, düzensiz topografya etkisiyle sapmasını belirleyen diferansiyel denklemler verilmiş ve bu denklemler sayısal olarak çözümlenerek, dalga sığlaşması ve kırılması da dikkate alınarak dalga ortogonalinin yörüngesini ve dalga yüksekliğini belirleyen bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Programın hesap moduyla, sapma etkisiyle dalga açısı ve sapma katsayısı, sığlaşma etkisiyle sığlaşma katsayısı ve bunlara bağlı olarak dalga yüksekliği, kırılma etkisiyle kırılma derinliği ve bu derinlikteki kırılan dalga yüksekliği belirlenmiştir. Program, kırılma gerçekleşikten sonra, sapma ve sığlaşma hesabını durdurarak, dalga yüksekliğini kıyı çizgisi üzerinde sıfır olacak şekilde lineer olarak azaltmaktadır.

1. AMAÇ

Dalga sapması, düz ve paralel konturlu topografyalarda analitik olarak kolayca belirlenebilmesine rağmen; düzensiz topografyalarda oldukça zaman alıcı, sıkıcı, kullanımda uzmanlık gerektiren ve sonuçları kişilere bağlı olabilen grafik yöntemlerle oldukça zor belirlenebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı, günümüzde düzensiz topografyalarda grafik yöntemler yerine sayısal yöntemler geliştirilmeye ve bilgisayar yardımıyla hesap yapılmaya başlanmıştır. Sayısal yöntemlerde, grafik yöntemlerle hesap yaparken kullanılan derinlik konturları yerine, hesap yapılacak bölgeyi karelaj oluşturacak şekilde dilimlere bölerek bu dilimler yardımıyla hesap yapılmaktadır. Dilim boyutları, sonucun istenilen hassasiyetine göre seçilebilir; başlangıç şartları bilindiğinde derin deniz sınırından başlanma şartı aranmaz. Sayısal yöntemler için diferansiyel denklemler ortogonal boyunca oluşturulur, taban topografyasının etkisi hızın bir fonksiyonu olarak dikkate alınır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Sapma - Sıçlaşma Hesabında Yapılan Kabuller

Sunulacak olan bu yaklaşımda, düzenli, uzun tepeli, küçük genlikli yüzey dalgaları kullanılmış, akıntının, rüzgarın, sızmanın ve türbülans dolayısıyla taban sürtünmesinin etkileri ihmal edilmiştir. Yansımanın ve dönmenin etkileri dikkate alınmamış, bitişik ortogonaller arasında enerji kaybı olmadığı kabul edilmiştir. Ayrıca ortogonallerin birbirini kesmediği (kaustik oluşmadığı) kabul edilmiştir [1].

2.2. Dalga Sapma Yönünü ve Sapma Katsayısını Belirleyen Diferansiyel Denklemler

Skovgaard, Jonsson ve Bertelsen yaptıkları çalışmalarda dalga sapma yönü ve sapma katsayısı için aşağıdaki denklemleri geliştirmişlerdir [1].

Dalga sapma yönü için:

$$\frac{dx}{dt} = C \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$\frac{dy}{dt} = C \cdot \sin \theta \quad (2)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial C}{\partial x} \cdot \sin \theta - \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \cos \theta \quad (3)$$

Dalga sapma katsayısı için:

$$\frac{d^2 \beta}{dt^2} + p_t \cdot \frac{d\beta}{dt} + q_t \cdot \beta = 0 \quad (4)$$

Denklem (4)'teki katsayılar aşağıdaki kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilebilir.

$$p_t = -2 \cdot \left(\frac{\partial C}{\partial x} \cdot \cos \theta + \frac{\partial C}{\partial y} \cdot \sin \theta \right) \quad (5)$$

$$q_t = C \cdot \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \cdot \sin^2 \theta - \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} \cdot 2 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \cdot \cos^2 \theta \right) \quad (6)$$

Denklemlerde; C dalga hızını, x, y ortogonalin yolunu belirleyen koordinatları, θ ortogonalin x - eksenine yaptığı açığı (ortogonal açısı), t seçilen zaman aralığını ve β ortogonal ayırma faktörünü göstermektedir.

Sapma katsayısı, denklem (4)'ün çözümünden elde edilen ortogonal ayırma faktörü " β "'ya bağlıdır.

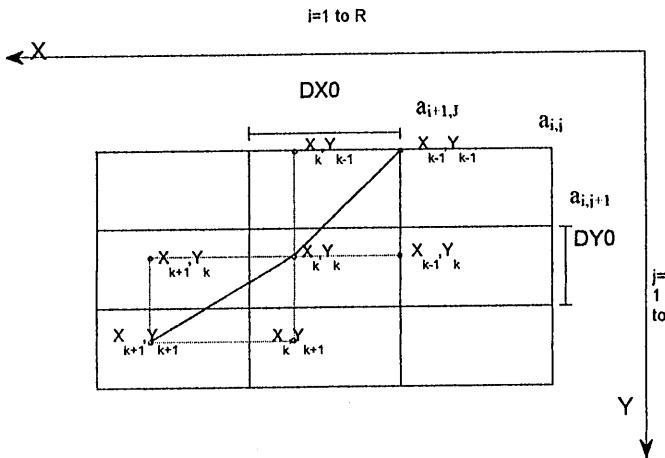
$$K_r = \beta^{-1/2} \quad (7)$$

2.3. Sonlu Farklar Tekniğiyle Dalga Yönünü Belirleyen Diferansiyel Denklemlerin Sayısal Çözümü

Geliştirilen diferansiyel denklemlerin sayısal olarak çözülebilmesi için, adi ve kısmi türevler, sonlu farklar yardımıyla yeniden düzenlenmiştir. Sonlu farklar tekniği kullanımında gerekli olan karelaj ağı (Şekil 1), taban topografyasını temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Şekil 1’de, i ve j ’nin maksimum değerleri R ve S ’dir. R ve S değerleri, hesap yapılacak alanın büyüklüğüne ve hücre boyutlarına (DX_0 , DY_0) bağlıdır [2].

Taban topografyası, karelaj ağında, hücrelerin köşegenlerindeki yatay koordinatlar ve bu noktadaki kotlarla ifade edilir. Köşegenlerdeki kotlar elle doğrudan hesaplanacağı gibi, sayısal yükseklik modelleri yöntemlerinden multikvadrik enterpolasyon yöntemiyle de belirlenebilir. Bu yöntemde, oluşturulan karelaj ağındaki hücre köşegenlerindeki kotlar, dayanak noktaları yardımıyla yapılan bilgisayar programıyla hesaplanabilmektedir [3].

(1, 2, 3) diferansiyel denklemleri ileri yön sonlu farklar tekniği kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir [4, 5, 6]. Şekil 1’de gösterilen karelaj ağında X_k , Y_k “ $k \rightarrow 1 - n$ ”e kadar “ başlangıç noktası olmak üzere:



Şekil 1. Karelaj ağı üzerinde ortogonal yörüngesi

$$X_{k+1} = \Delta t \cdot C_{X_k, Y_k} \cdot \cos \theta_k + X_k \quad (8)$$

$$Y_{k+1} = \Delta t \cdot C_{X_k, Y_k} \cdot \sin \theta_k + Y_k \quad (9)$$

$$\theta_{k+1} = \Delta t \cdot \left\{ \frac{(C_{X_{k+1}, Y_k} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \sin \theta_k}{\Delta X_l} - \frac{(C_{X_k, Y_{k+1}} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \cos \theta_k}{\Delta Y_l} \right\} + \theta_k \quad (10)$$

$$\Delta X_l = X_{k+1} - X_k \quad (l=1-n) \quad (11)$$

$$\Delta Y_l = Y_{k+1} - Y_k \quad (l=1-n) \quad (12)$$

2.4. Sonlu Farklar Tekniğiyle Dalga Yüksekliğini Belirleyen Diferansiyel Denklemlerin Sayısal Çözümü

İkinci dereceden kısmi türevli (4, 5, 6), diferansiyel denklemlerin Şekil 1'de gösterilen k noktasına göre sayısal ifadeleri aşağıda verilmiştir [4, 5, 6].

$$\beta_{k+1} = \frac{-q_l \cdot \beta_k \cdot \Delta t^2 + 2 \cdot \beta_k - \beta_{k-1} + p_l \cdot \beta_k \cdot \Delta t}{1 + \Delta t \cdot p_l} \quad (13)$$

$$p_l = -2 \cdot \left\{ \frac{(C_{X_{k+1}, Y_k} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \cos \theta_k}{\Delta X_l} + \frac{(C_{X_k, Y_{k+1}} - C_{X_k, Y_k}) \cdot \sin \theta_k}{\Delta Y_l} \right\} \quad (14)$$

$$q_l = C_{X_k, Y_k} \cdot (q_{t_1} - q_{t_2} - q_{t_3}) \quad (15)$$

$$q_{t_1} = \frac{(C_{X_{k+1}, Y_k} - 2 \cdot C_{X_k, Y_k} + C_{X_{k-1}, Y_k}) \cdot \sin^2 \theta_k}{\Delta X_l^2} \quad (16)$$

$$q_{t_2} = \frac{(C_{X_{k+1}, Y_{k+1}} + C_{X_k, Y_k} - C_{X_{k+1}, Y_k} - C_{X_k, Y_{k+1}}) \cdot 2 \cdot \sin \theta_k \cdot \cos \theta_k}{\Delta X_l \cdot \Delta Y_l} \quad (17)$$

$$q_{t_3} = \frac{(C_{X_k, Y_{k+1}} - 2 \cdot C_{X_k, Y_k} + C_{X_k, Y_{k-1}}) \cdot \cos^2 \theta_k}{\Delta Y_l^2} \quad (18)$$

2.5. Dalga Yüksekliğinin ve Dalga Sığlaşma Katsayısının Belirlenmesi

Denklem (19) yardımıyla , dalga kırılması oluşmadan önceki, dalga yüksekliğinin (H) değişimi, başlangıç dalga yüksekliğine (H_0), hesaplanan sığlaşma (K_s) ve sapma (K_r) katsayılarına bağlı olarak hesaplanabilir [7].

$$\frac{H}{H_0} = K_s \cdot K_r \quad (19)$$

Dalga sığlaşma katsayısı aşağıdaki denklemle analitik olarak hesaplanabilir. Denklemde; H dalga yüksekliğini, K_s sığlaşma katsayısını, d su derinliğini ve L dalga boyunu göstermektedir.

$$\frac{H}{H_0} = K_s = \left[\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right) \right]^{-0.5} \left[1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot d / L}{\sinh(4 \cdot \pi \cdot d / L)} \right]^{-0.5} \quad (20)$$

2.5. Sayısal Çözümün Kontrolü ve Durdurulması Gerektiren Şartlar

Hesaplar ortogonal boyunca sürekli kontrol edilmeli ve aşağıdaki şartlara uyup uymadığına bakılmalıdır. Eğer uymuyorsa hesaplar durdurulmalıdır.

- Hesap yapılacak bölge sınırları dışına taşılmamalıdır.
- Ortogonal bir birine çok fazla (kaustik oluşma başlangıcı) yaklaşmamalıdır.

$$\Delta\beta/dt < [-\beta/T] \quad (21)$$

c. Dalga kırılması oluşmamalıdır. Dalga kırılması oluştuğundan sonra, dalga mekanizması değiştiğinden, sapma ve sığlaşma hesabından dalga yüksekliğinin belirlenmesi doğru

olmamaktadır. Kırılma noktasındaki kırılan dalga yüksekliği, ortalama eğime, sapma ve sığlaşma hesabından bulunan dalga yüksekliğine ve periyoduna bağlı olarak, kırılma derinliği ise kırılan dalga yüksekliği ve kırılma indisine bağlı olarak belirlenir.

d. Taban eğimi çok fazla artmamalıdır.

$$\Delta d / \Delta s < m \cdot d / L \quad (22)$$

3. BULGULAR

Sayısal model, 1/20 eğimli düz paralel konturlu topografyaya ve düzensiz topografyaya uygulanmış, elde edilen sonuçlar düz paralel konturlarda analitik sonuçlarla, düzensiz topografyada grafik yöntemle karşılaştırılmıştır. Sayısal model, düzenli dalgalar kullanılarak hazırlanmıştır. Düzenli dalgalarda, derin deniz dalga dikliği (H_0 / L_0), genellikle 0.02 ile 0.06 değerleri arasında değişir. Uygulamada başlangıç şartları seçilirken bu değerler dikkate alınmıştır.

3.1. Düz Paralel Konturlu Topografyada Sayısal Çözüm ve Snell Kanunu Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

Düz paralel konturlu topografya üzerinde dalga sapması Snell Kanunu kullanılarak analitik olarak belirlenebilmektedir. 1/20 eğimli düz paralel konturlu topografya üzerinde istenilen derinlikteki dalga parametreleri, seçilen başlangıç şartları; açık deniz dalga yüksekliği $H_0 = 6$ m, dalga periyodu $T=10$ sn, açık deniz dalga açısı $\theta_0=55^\circ$, başlangıç noktası koordinatları $X=60$ m $Y=0$ ve $d=30$ m kullanılarak, Snell Kanunu uygulanarak elde edilen sonuçlar ile aynı başlangıç şartları kullanılarak ve $\Delta t=1.5$ sn alınarak sayısal çözümün uygulamasından elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Dalga kırılması gerçekleşikten sonra, dalga sapması ve sığlaşması dikkate alınmadığından bu değerler hesaplanmamış ve tablolarda gösterilmemiştir.

Tablo 1. Düz paralel konturlu topografya üzerinde Sayısal çözüm ve Snell Kanunu uygulanarak elde edilen sonuçlar

Başlangıç Değerleri (Açık Deniz Dalga Şartları)							
$H_0=6$ m	$T=10$ sn	$\theta_0=55^\circ$	$\Delta t=1.5$ sn	Snell Kanunu		Sayısal Model	
Nokta No	X (m)	Y (m)	D (m)	θ ($^\circ$)	K_r	θ ($^\circ$)	K_r
Baş. Nok.	90.00	0.00	30.00	59.7073	0.9740	59.7073	0.9740
1	100.39	17.78	29.11	59.9736	0.9727	59.9734	0.9727
2	110.61	35.46	28.23	60.2339	0.9714	60.2509	0.9713
3	120.66	53.05	27.35	60.5212	0.9700	60.5385	0.9700
4	130.53	70.53	26.47	60.8216	0.9686	60.8391	0.9686
5	140.22	87.89	25.61	61.1356	0.9699	61.1534	0.9671
6	149.72	105.15	24.74	61.4609	0.9656	61.4789	0.9657
7	159.03	122.27	23.89	61.7971	0.9641	61.8154	0.9642
8	168.14	139.27	23.04	62.1470	0.9625	62.1656	0.9627
9	177.04	156.12	22.19	62.5114	0.9609	62.5303	0.9612
10	185.72	172.83	21.36	62.8877	0.9593	62.9069	0.9597
11	194.19	189.38	20.53	63.2749	0.9577	63.2946	0.9581
12	202.44	205.77	19.71	63.6786	0.9560	63.6986	0.9566
13	210.45	221.99	18.90	64.0912	0.9543	64.1132	0.9550
14	218.23	238.02	18.10	64.5214	0.9528	64.5421	0.9535
15	225.78	253.87	17.31	64.9657	0.9508	64.9868	0.9519
16	233.08	269.51	16.52	65.4197	0.9491	65.4412	0.9503
17	240.13	284.95	15.75	65.8909	0.9473	65.9129	0.9488
18	246.93	300.16	14.99	66.3735	0.9456	66.3959	0.9472
19	253.48	315.14	14.24	66.8685	0.9438	66.8913	0.9457
20	259.77	329.88	13.51	67.3800	0.9420	67.4033	0.9442
21	265.80	344.37	12.78	67.9033	0.9403	67.9269	0.9427
22	271.56	358.59	12.07	68.4385	0.9385	68.4624	0.9412
23	277.07	372.54	11.37	68.9887	0.9367	69.0130	0.9398
24	282.31	386.20	10.69	69.5521	0.9350	69.576	0.9384
25	287.28	399.55	10.02	70.1301	0.9333	70.1551	0.9370
26	291.99	412.59	9.37	70.7197	0.9316	70.7449	0.9357
27	296.43	425.31	8.73	71.3204	0.9299	71.3459	0.9344
28	300.61	437.69	8.11	71.9369	0.9282	71.9626	0.9332
29	304.53	449.72	7.51	72.5642	0.9266	72.5900	0.9320
30	308.18	461.38	6.93	73.2044		73.2298	
31	311.58	472.67	6.37	73.8547		73.8803	
32	317.73	483.57	5.82	74.5194		74.5453	
33	317.64	494.06	5.30	75.1947		75.2205	
34	320.30	504.15	4.79	75.8800		75.9057	
35	322.72	513.80	4.31	76.5793		76.6046	
36	324.91	523.00	3.85	77.2880		77.3131	
37	326.88	531.77	3.41	78.0064		78.0310	
38	328.64	540.06	3.00	78.7365		78.7605	
39	330.20	547.88	2.61	79.4779		79.5012	
40	331.55	555.20	2.24	80.2274		80.2499	
41	332.72	562.03	1.90	80.9886		81.0097	
42	333.72	568.34	1.58	81.7599		81.7795	
43	334.56	574.13	1.29	82.5404		82.5594	

3.2. Düzensiz Topografyada Sayısal Çözüm ve Grafik Yöntem Uygulamasından Elde Edilen Sonuçlar

Başlangıç değerleri olarak (açık deniz dalga şartları), açık deniz dalga yüksekliği $H_0=5\text{m}$, dalga periyodu $T=8\text{sn}$, dalga açısı (kıyı diki ile ortogonalin yaptığı açı $\alpha =90-\theta$) $\theta_0 = 45^\circ$, iki ortogonal arasındaki mesafe $b_0= 13\text{ m}$ alınmış yatay koordinatları, $X =20\text{ m}$ ve $Y = 0\text{ m}$, $d = 22.5\text{ m}$ su derinliğine kadar topografyanın düz paralel konturlu olduğu kabul edilerek Snell Kanunundan hesap yapılmıştır. Bu derinlikten sonra grafik yöntem, dalga kırılma noktasına kadar uygulanmış, ortogonal yönü ve sapma katsayısı belirlenerek Tablo 2’de verilmiştir. Sığlaşma katsayısı ise denklem (20)’den elde edilmiştir. Sayısal çözüm aynı topografya ve aynı başlangıç şartlarıyla $\Delta t=1.5\text{ sn}$ alınarak uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir. Ortogonal yöntemi ve sayısal yöntemde, kırılma noktasındaki dalga yüksekliği ve kırılma derinliği hesaplanmış ve bu noktadan sonraki dalga yüksekliğindeki değişme, kırılma indisine göre kıyı çizgisi üzerinde dalga yüksekliği sıfır olacak şekilde lineer olarak azaltılmıştır.

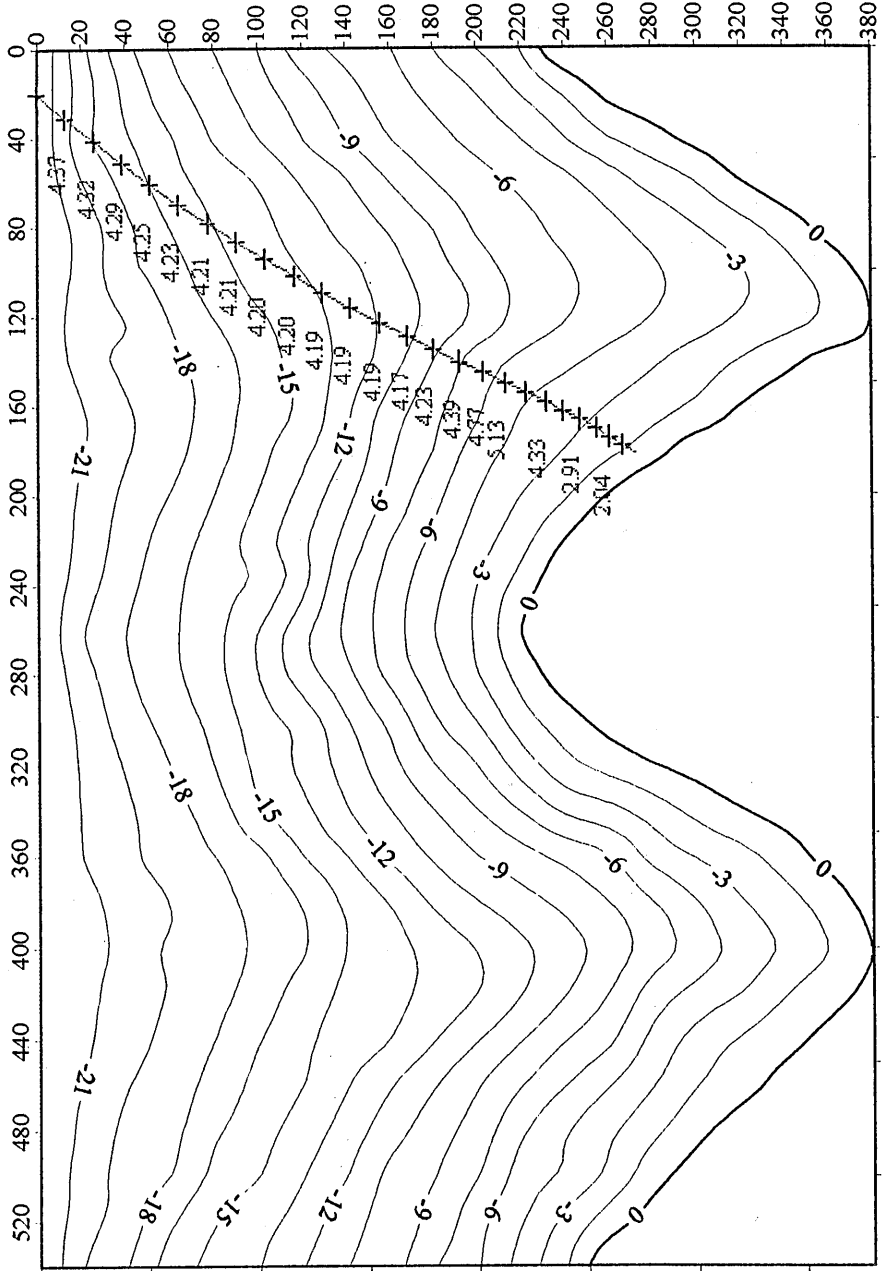
Tablo 2. Düzensiz topografya üzerinde ortogonal yöntemi uygulanarak elde edilen sonuçlar

Başlangıç Değerleri (Açık Deniz Dalga Şartları)							
$H_0 = 5\text{ m}$		$T = 8\text{ sn}$	$\theta_0 = 45^\circ$		$b_0 = 13\text{ m}$		
Nokta No	X (m)	Y (m)	D (m)	θ ($^\circ$)	K_r	K_s	H (m)
Baş. Nok.	20.00	0	22.5	49.76	0.9625	0.9232	4.4429
1	26.18	7.14	21.0	50.50	0.9625	0.9205	4.4299
2	33.32	15.47	19.5	51.50	0.9430	0.9170	4.3237
3	42.84	28.56	18.0	52.50	0.9430	0.9145	4.3119
4	60.69	52.36	16.5	55.00	0.9325	0.9131	4.2573
5	82.11	79.73	15.0	58.00	0.9325	0.9133	4.2583
6	108.29	127.33	13.5	61.00	0.9247	0.9156	4.2333
7	123.00	154.47	12.0	63.00	0.8911	0.9204	4.1008
8	130.20	171.36	10.5	63.50	0.9075	0.9290	4.2153
9	135.66	180.29	9.0	64.50	0.9247	0.9420	4.3553
10	141.00	189.21	7.5	64.00	0.9625	0.9622	4.6306
11	151.13	207.06	6.0	65.00	1.0200	0.9932	5.0653
12	158.27	220.15	4.5	64.00			4.3689
13	166.60	233.24	3.0	60.00			2.9126
Dalga Kırılma Noktasında			Su Derinliği		6.17 m		
			Dalga Yüksekliği		5.99 m		
			Kırılma İndisi		1.03		

Tablo 3. Düzensiz topografya üzerinde sayısal model uygulanarak elde edilen sonuçlar

Başlangıç Değerleri (Açık Deniz Dalga Şartları)							
$H_0 = 5 \text{ m}$		$T = 8 \text{ sn}$		$\theta_0 = 45^\circ$		$\Delta t = 1.5 \text{ sn}$	
Nokta No	X (m)	Y (m)	D (m)	θ (°)	K_r	K_s	H (m)
Baş. Nok.	20.00	0.00	22.50	49.7500	0.9625	0.9246	4.4497
1	31.05	13.06	19.88	51.1152	0.9531	0.9179	4.3741
2	41.49	25.30	18.28	52.2218	0.9450	0.9148	4.3226
3	51.45	38.85	17.33	53.5703	0.9383	0.9137	4.2867
4	60.95	51.73	16.40	55.0097	0.9312	0.9131	4.2515
5	69.99	64.64	15.73	56.4179	0.9262	0.9130	4.2282
6	78.60	77.61	15.14	57.6833	0.9225	0.9132	4.2124
7	86.82	90.60	14.61	58.7514	0.9214	0.9137	4.2091
8	94.71	103.60	14.15	59.5910	0.9196	0.9143	4.2040
9	102.32	116.58	13.74	60.5950	0.9173	0.9150	4.1968
10	109.64	129.56	13.34	61.7493	0.9150	0.9159	4.1905
11	116.62	142.55	12.71	62.9853	0.9135	0.9177	4.1916
12	123.21	155.48	11.87	63.9144	0.9100	0.9210	4.1907
13	129.44	168.20	10.80	64.4066	0.9007	0.9268	4.1738
14	135.35	64.41	9.20	65.2769	0.9001	0.9400	4.2304
15	140.73	192.23	7.35	65.2154	0.9106	0.9648	4.3929
16	145.65	202.89	6.54	65.6910	0.9737	0.9803	4.7728
17	150.26	213.09	5.61	65.9191			5.1278
18	154.53	222.65	4.74	65.1148			4.3324
19	158.63	231.46	4.16	62.9944			3.7993
20	162.78	239.62	3.66	61.86			3.3459
21	166.86	247.24	3.19	60.9512			2.9181
22	170.80	254.33	2.71	59.8378			2.4790
23	174.57	260.83	2.23	58.4908			2.0408
24	178.16	266.67	1.77	56.9105			1.6146
25	181.50	271.81	1.26	54.4337			1.1535
26	184.53	276.04	0.81	52.7111			0.7401
27	187.07	279.38	0.52	51.8483			0.4708
28	189.07	282.01	0.33	51.7411			0.2973
29	190.79	284.11	0.20	52.3697			0.1859
30	192.08	285.78	0.132	53.7624			0.1144
Dalga Kırılma Noktasında			Su Derinliği	6.48 m			
			Dalga Yüksekliği	5.88 m			
			Kırılma İndisi	1.10			

Şekil 2'de programın çizim modundan elde edilen çıktıyla, düzensiz topografya üzerinde ortogonalin gidişi açıkça görülebilmektedir.



$H_0=5$ m
 $T=8$ sn
 $\theta_0=45^\circ$

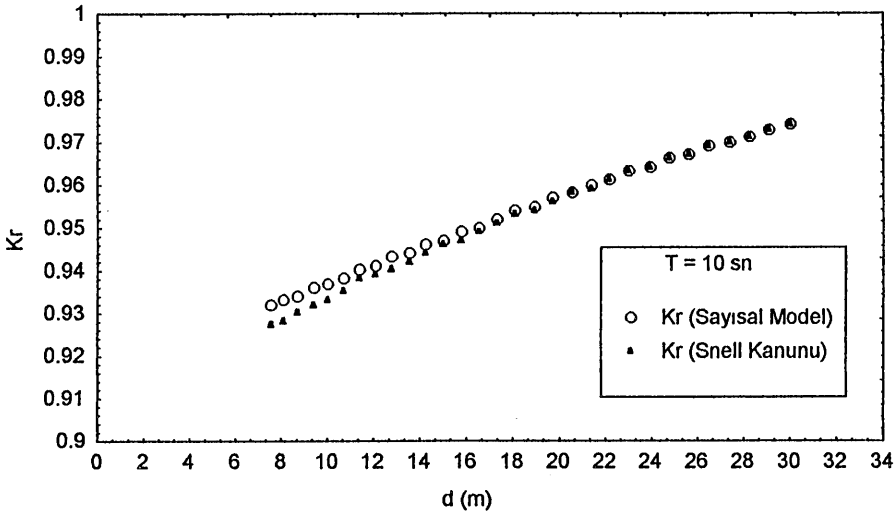
Şekil 2. Düzensiz topografya üzerinde ortogonal yörüngesi ve dalga yüksekliği

4. İRDELEME

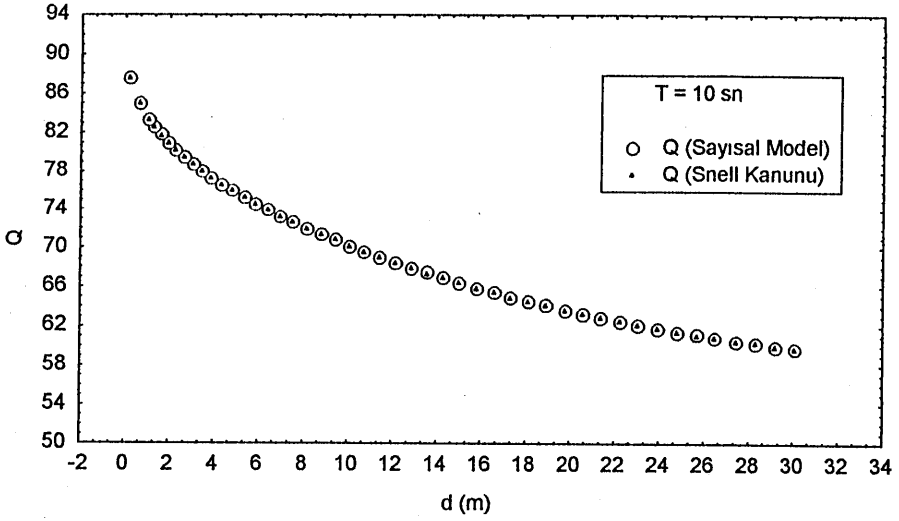
4.1. Düz Paralel Konturlu Topografyalarda, Model Sonuçlarıyla Snell Kanunundan Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Düz paralel konturlu topografyaya, model uygulandığında elde edilen sonuçlar, aynı topografyaya Snell Kanunu uygulanarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar Şekil 3 ve 4’de verilmiştir.

Şekil 3’de, su derinliği (d) ile sapma katsayı (K_r) incelenirse, sayısal yöntemdeki hatanın yine % 0.58 civarında olduğu görülür ki bu hatanın da sapma hesabında sayısal yöntemin getirdiği yaklaşım hatalarından kaynaklandığı söylenebilir. Düz paralel konturlu topografyada sayısal yöntem ve Snell Kanunundan bulunan değerlere göre, su derinliği (d) ile dalga açısının (θ) karşılaştırıldığı Şekil 4’deki grafik incelendiğinde iki yöntem arasında maksimum hatanın % 0.035 değerini geçmediği görülmüştür.



Şekil 3. Düz paralel konturlu topografya üzerinde sayısal model ve Snell Kanunu karşılaştırılması (su derinliği ile sapma katsayısı)

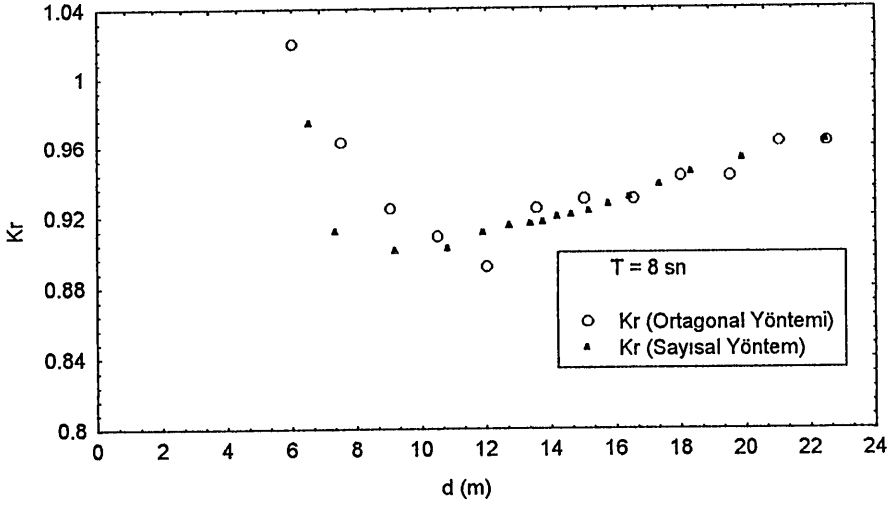


Şekil 4. Düz paralel konturlu topografya üzerinde sayısal model ve Snell Kanunu karşılaştırılması (su derinliği ile dalga yönü)

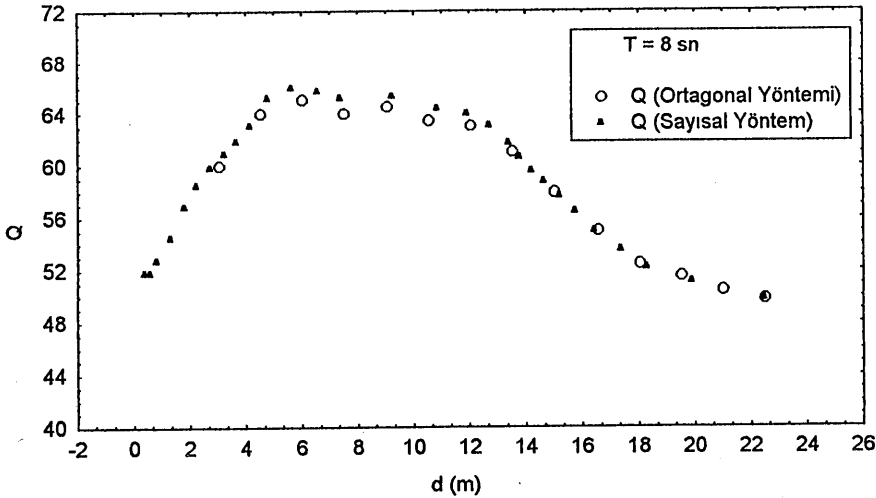
4.2. Düzensiz Topografyalarda Sayısal Çözüm Sonuçlarıyla Grafik Çözümünden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Sayısal yöntemle grafik yöntem arasındaki karşılaştırmalar Şekil 5 ve 6'deki grafiklerle verilmiştir. Bu grafiklerden Şekil 5'de su derinliği (d) ile sapma katsayısı (K_r) arasındaki ilişki incelendiğinde, aynı topografyada iki yöntem arasında dalga yükseklikleri ve sapma katsayıları arasında maksimum farkın kırılma noktası yakınlarında % 5.4 olduğu görülmüştür. Bu farkın, grafik yöntem uygulanırken yapılabilecek hataların yığılımlı olarak artmasından ve sayısal çözümün getireceği hatalardan kaynaklandığı söylenebilir.

Şekil 6'daki su derinliği (d) ile dalga açısı (θ) incelendiğinde, aynı topografyada, iki yöntem arasında oluşabilecek maksimum farkın, kırılma noktası yakınlarında % 1.06 civarında olduğu görülmüştür. Bu farkın, grafik yöntemde, açıölçer hassasiyetinden, uygulama hatasından, sayısal yöntemde ise yaklaşım hatalarından kaynaklandığı görülmüştür.



Şekil 5. Düzensiz konturlu topografya üzerinde sayısal model ve grafik yöntemin karşılaştırılması (su derinliği ile sapma katsayısı)



Şekil 6. Düzensiz konturlu topografya üzerinde sayısal model ve grafik yöntemin karşılaştırılması (su derinliği ile dalga yönü)

5. SONUÇ

Kıyıda, düzensiz topografya üzerinde dalga sapmasını sayısal olarak belirlemeye yönelik yapılmış bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Kıyı bölgesinde, düzensiz topografya üzerinde, dalga sapmasının sayısal olarak belirlenmesi yanında, dalga sığlaşması ve kırılması da dikkate alınarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

2. Yapılan irdelemeler sonucu geliştirilen sayısal modelin, tabanı düzgün değişmeyen kıyı bölgesindeki lineer su dalgalarının (düzenli dalgaların) sapmalarını belirlemede rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

3. Sayısal model düzenli (düz paralel) topografyalarda, analitik çözümle çok iyi bir uyum göstermiş ve oluşan hatalar sapma katsayısında % 0.58, dalga açısında ise % 0.035 değerlerini geçmemiştir.

4. Sayısal model düzensiz topografyalarda, grafik yöntemlerle karşılaştırıldığında, aradaki farklılığın sapma katsayısında % 5.4, dalga açısında ise % 1.06 değerleri civarında olduğu görülmüştür. Bu değerler maksimum değerlerdir ve mühendislik projelendirmelerinde kabul edilebilir hata sınırları içindedir.

5. Sayısal modelle grafik ve analitik çözümler karşılaştırıldığında, hataların kırılma noktası civarında en büyük değere ulaştığı görülmüştür. Bunun sebebi, dalgaların hareketlerin bu noktada tamamen değişmesidir. Kırılma noktasına kadar salınımlı gelen dalgalar, bu noktadan sonra kütle taşımını şeklinde hareket etmektedirler.

6. Dalgaların hareketlerinde dalga dikliği önemli bir parametredir. Sayısal model uygulamalarında, dalga dikliğinin büyük seçildiği başlangıç değerleriyle elde edilen dalga sapma katsayısı sonuçlarının, dalga dikliği küçük seçilen başlangıç değerleriyle elde edilen dalga sapma katsayısı sonuçlarından daha büyük olduğu görülmüştür. Dalga dikliğinin büyük olmasının dalga sapma katsayısı artırdığı sonucuna varılmıştır.

Yapılan çalışmada, sayısal modelden elde edilen sonuçlar, düz paralel konturlu topografyalarda analitik, düzensiz topografyalarda grafik çözümlerle karşılaştırılmış olsa da, sayısal modelden elde edilen tüm sonuçlar, fiziksel model (laboratuvar deneyleri) sonuçları

ve arazi verileriyle de karşılaştırılarak doğrulukları kontrol edilmelidir. Yapılan tüm hesaplarda düzenli dalgalar kullanılmıştır. Düzensiz dalga durumunda da, bu hesaplar yapılmalıdır. Düzensiz dalgaların kıyı bölgesindeki dalga hareketine etkileri incelenmelidir. Ayrıca, düzenli ve düzensiz dalgalar arasındaki farklılıklar araştırılmalıdır. Düzenli ve düzensiz dalgaların, sapma ve kırınımını birlikte inceleyen matematiksel ve fiziksel model çalışmaları geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Skovgaard, O., Jonsson, I.G., ve Bertelsen, J.A., Computation of Wave Heights due to Refraction and Friction, Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, 101, No. WW1. February, (1975), 15-32.
2. Ebersole, B.A., Cialone, M., ve Prater, M.D., Regional Coastal Processes Numerical Modelling System, Technical Report, CERC-86-4, CERC, 1984
3. Bayrak, T., Sayısal Yükseklik Modellerinde Interpolasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1996.
4. Smith, G.D., Numerical Solution of Partial Differential Equations, Third Edition, Oxford University Press, Ely House, London W. I, 1975.
5. Akpınar, S., Sayısal Çözümleme, İkinci Baskı, KTÜ Mühendislik - Mimarlık Fak., Trabzon, 1994,
6. Kömürcü, M. İ., Dalga Sapmasının Sayısal Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1998.
7. Svendsen, I.A. ve Jonsson, I.G., Hydrodynamics of Coastal Regions, First Edition, Den Private Ngenqrfond Technical University, Denmark, 1976.

REFRACTION OF REGULAR WAVES OVER IRREGULAR TOPOGRAPHY

ABSTRACT

In this study, differential equations to determine the refraction of regular waves over irregular topography are numerically solved and taking into consideration wave shoaling and breaking, a computer programme which determine both the orbit of wave orthogonal and wave height is presented. Angle due to refraction, coefficient by refraction, coefficient by shoaling and resulting wave height, depth of breaking and breaking height are determined by the calculation mode of the programme. The programme when the waves are broken terminates the calculations of refraction and shoaling and reduces the wave height linearly to the zero on the shoreline.

